SOMMARIO

PRESENTAZIONE.....	11
INTRODUZIONE.....	13
GUIDA ALLA LETTURA DEL LIBRO	15
1. LA GRANDEZZA “LUNGHEZZA” E LA RIFERIBILITÀ AI CAMPIONI	
1.1 CHE COS'È UNA LUNGHEZZA?.....	17
1.2 UN PO' DI STORIA.....	19
1.3 LE UNITÀ FONDAMENTALI DEL SI.....	21
1.4 IL METRO OGGI.....	22
1.5 RIFERIBILITÀ DELLE MISURE.....	22
1.6 ORGANIZZAZIONE PER LA RIFERIBILITÀ.....	24
2. ERRORI ED INCERTEZZE	
2.1 ERRORI CONOSCIUTI E NON CONOSCIUTI.....	27
2.2 L'INCERTEZZA DI MISURA: LIVELLO DI FIDUCIA.....	29
2.3 L'INCERTEZZA DI MISURA NELLA NORMATIVA.....	31
2.4 I PRINCIPALI ERRORI NELLA METROLOGIA DIMENSIONALE.....	32
2.4.1 Generalità.....	32
2.4.2 Errore dovuto al non rispetto della condizione di Abbe.....	32
2.4.3 Errore dovuto al non perfetto allineamento del pezzo.....	33
2.4.4 Errore dovuto all'effetto di parallasse.....	35
2.4.5 Errore dovuto alle deformazioni secondo la legge di Hooke.....	37
2.4.6 Errore dovuto alle deformazioni di Hertz.....	37
3. LA VALUTAZIONE DELL'INCERTEZZA DI MISURA	
3.1 IPOTESI FONDAMENTALI.....	41
3.2 LA STIMA DEI CONTRIBUTI DI INCERTEZZA.....	42
3.2.1 Generalità.....	42
3.2.2 La distribuzione rettangolare.....	44

3.2.3	La distribuzione gaussiana (o normale).....	45
3.2.4	La distribuzione a U.....	47
3.3	LA PROPAGAZIONE DELL'INCERTEZZA DI MISURA.....	49
4.	GLI EFFETTI DELLA TEMPERATURA SULLA LUNGHEZZA	
4.1	INTRODUZIONE.....	57
4.2	L'EFFETTO DELLA TEMPERATURA SULLA LUNGHEZZA.....	59
4.3	CONSIGLI PRATICI PER RIDURRE GLI EFFETTI DELLA TEMPERATURA SULLA LUNGHEZZA.....	62
4.4	CONSIDERAZIONI SULLA DECISIONE DI NON CORREGGERE L'EFFETTO SISTEMATICO DELLA TEMPERATURA.....	71
4.5	ESEMPI APPLICATIVI DEGLI EFFETTI DELLA TEMPERATURA.....	72
4.6	CONSIDERAZIONI FINALI.....	74
5.	I MODELLI MATEMATICI DELLE MISURE DIMENSIONALI	
5.1	INTRODUZIONE.....	75
5.2	MODELLO MATEMATICO DELLA MISURAZIONE DI UN PEZZO.....	75
5.2.1	Generalità.....	75
5.2.2	Applicazione del modello matematico alla misurazione di un pezzo con un calibro corsoio.....	80
5.3	MODELLO MATEMATICO DI MISURA PER L'ERRORE DI INDICAZIONE (TARATURA DI UNO STRUMENTO).....	83
5.3.1	Generalità.....	83
5.3.2	Valutazione delle incertezze di misura.....	84
5.3.2.1	Contributo di incertezza dovuto al campione.....	84
5.3.2.2	Contributo di incertezza dovuto agli effetti termici..	84
5.3.2.3	Contributo di incertezza dovuto alla risoluzione.....	86
5.3.2.4	Contributo di incertezza dovuto al non parallelismo delle facce di misura.....	87
5.3.2.5	Contributo di incertezza dovuto alla non planarità delle facce di misura.....	87
5.3.2.6	Contributo di incertezza dovuto all'effetto di parallasse.....	88
5.3.2.7	Contributo di incertezza dovuto all'allineamento..	89
5.3.2.8	Contributo di incertezza dovuto alla ripetibilità.....	89
5.3.2.9	Calcolo dell'incertezza tipo composta.....	90
5.4	MODELLO MATEMATICO DELLA MISURAZIONE DI UN'ASTA CON UN CALIBRO A CORSOIO.....	92

5.4.1	Generalità.....	92
5.4.2	Valutazione delle incertezze di misura.....	96
5.5	MODELLO MATEMATICO DI MISURA PER CONFRONTO.....	98
6.	LE CARATTERISTICHE METROLOGICHE DEGLI APPARECCHI PER MISURAZIONE	
6.1	INTRODUZIONE.....	101
6.2	CAMPO DI MISURA DI UNO STRUMENTO PER MISURAZIONE.....	104
6.3	UNITÀ DI FORMATO.....	105
6.4	RISOLUZIONE.....	105
6.5	ERRORE DI INDICAZIONE.....	108
6.6	RIPETIBILITÀ.....	109
6.7	LINEARITÀ.....	112
6.8	ISTERESI.....	113
6.9	STABILITÀ.....	115
6.10	ERRORE MASSIMO AMMESSO PER LE CARATTERISTICHE METROLOGICHE E PER LO STRUMENTO.....	116
6.11	DALL'MPE DELLO STRUMENTO AL SUO CONTRIBUTO ALL'INCERTEZZA DI MISURA.....	121
7.	I RIFERIMENTI NORMATIVI	
7.1	EVOLUZIONE DELLE NORME SUI SISTEMI QUALITÀ.....	129
7.2	EVOLUZIONE DELLE NORME TECNICHE RELATIVE AGLI APPARECCHI PER MISURAZIONE.....	135
8.	LE SPECIFICHE GEOMETRICHE DEI PRODOTTI (GPS)	
8.1	INTRODUZIONE.....	143
8.2	EVOLUZIONE STORICA DEL QUADRO NORMATIVO.....	145
8.3	I PRINCIPI DELLE GPS.....	151
8.4	LA UNI EN ISO 14253-1: LE REGOLE DECISIONALI PER LA VERIFICA DI CONFORMITÀ ALLE SPECIFICHE.....	156
8.5	IL RAPPORTO TRA INCERTEZZA E TOLLERANZA.....	161
9.	LA VERIFICA DI CONFORMITÀ DEGLI APPARECCHI PER MISURAZIONE AGLI ERRORI MASSIMI AMMESSI	
9.1	IL SISTEMA DI CONFERMA METROLOGICA: APPLICAZIONE DELLA UNI EN ISO 14253-1.....	167

9.2	CORREGGERE O NON CORREGGERE: APPLICAZIONE DELLA NORMA ISO/TS 14253-2.....	176
9.3	IL CONTROLLO DEL PROCESSO DI MISURAZIONE.....	184
9.3.1	Introduzione.....	184
9.3.2	I controlli periodici ed i campioni di controllo.....	184
9.3.3	L'uso delle carte di controllo.....	185

10. LA METROLOGIA A COORDINATE

10.1	INTRODUZIONE.....	193
10.2	DEFINIZIONI E NOMENCLATURA DELLE PARTI DI UNA CMM.....	193
10.3	PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO E CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE..	194
10.3.1	Generalità.....	194
10.3.2	Il sistema macchina.....	195
10.3.3	Il basamento.....	195
10.3.4	I carri di movimentazione.....	195
10.3.5	Le scale di lettura.....	196
10.3.6	Il sistema tastatore.....	197
10.3.6.1	Tipologie di tastatori.....	197
10.3.6.2	Utilizzo del tastatore con la CMM.....	198
10.3.7	Il sistema software.....	200
10.3.8	Il sistema di controllo asservito al PC.....	201
10.4	DIVERSE CONFIGURAZIONI DI STRUTTURA MACCHINA.....	202
10.4.1	Generalità.....	202
10.4.2	Struttura a mensola e tavola fissa (tipo Cantilever)..	203
10.4.3	Struttura a portale mobile.....	203
10.4.4	Struttura a portale fisso.....	204
10.4.5	Struttura a colonna.....	204
10.4.6	Struttura a braccio orizzontale mobile.....	205
10.4.7	Struttura a braccio orizzontale e tavola mobile.....	205
10.4.8	Struttura a ponte (tipo Gantry).....	206
10.4.9	Struttura con portale a L.....	206
10.5	CARATTERISTICHE TECNICHE DELLE CMM.....	207
10.6	PRINCIPI DI GEOMETRIA ANALITICA.....	207
10.6.1	Generalità.....	207
10.6.2	Superfici.....	211
10.6.3	Superfici di rotazione.....	212
10.6.4	Superfici cilindriche.....	213
10.6.5	Superfici coniche.....	213

Sommario

10.7	PRINCIPI DI METROLOGIA A COORDINATE.....	214
10.8	MISURA DEGLI ERRORI DI FORMA.....	219
10.8.1	Generalità.....	219
10.8.2	Scostamento di circolarità.....	219
10.8.3	Scostamento di cilindricità.....	221
10.8.4	Scostamento di planarità.....	221
10.8.5	Scostamento di parallelismo.....	222
10.8.6	Scostamento di perpendicolarità.....	222
10.8.7	Scostamento di concentricità.....	223
10.8.8	Scostamento di coassialità.....	224
10.8.9	Oscillazione circolare o “runout”.....	225
10.9	ERRORI DI MISURA E COMPENSAZIONI.....	227
10.9.1	Errori geometrici e compensazione degli errori geometrici.....	227
10.9.2	Errori di rettilineità (2 per ogni asse).....	229
10.9.3	Errori di rotazione (3 per ogni asse).....	229
10.9.4	Errori di linearità (1 per ogni asse).....	229
10.9.5	Altri errori.....	230
10.9.6	Errori termici e compensazione termica.....	231
10.9.6.1	Generalità.....	231
10.9.6.2	Scale di lettura delle CMM.....	232
10.9.6.3	Struttura fisica della CMM.....	233
10.9.6.4	Il misurando.....	234
10.10	STRATEGIA DI MISURA CON LE CMM.....	235
10.11	CONDIZIONI AMBIENTALI PER LE CMM.....	238
10.11.1	Generalità.....	238
10.11.2	Condizioni di natura termica.....	238
10.11.3	Vibrazioni.....	239
10.11.4	Alimentazione elettrica.....	240
10.11.5	Alimentazione pneumatica.....	241
10.11.6	Funzionamento in condizioni operative fuori dai limiti stabiliti dal costruttore.....	241
10.12	VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI DI UNA CMM.....	242
10.13	CONTROLLO INTERMEDIO DELLE CMM DA PARTE DELL’OPERATORE..	245
10.13.1	Applicazione del controllo del processo alla CMM...	245
10.13.2	Applicazione del controllo del processo al sistema tastatore.....	247

11. LA SCELTA DELLE APPRECCHIATURE PER MISURAZIONE	
11.1 LE APPRECCHIATURE PER MISURAZIONE IN RELAZIONE ALLE SPECIFICHE.....	249
11.1.1 Generalità.....	249
11.1.2 Calibro a corsoio.....	249
11.1.3 Micrometro.....	251
11.1.4 Comparatore.....	252
11.1.5 Truschino ed altimetro.....	254
11.1.6 Macchina di misura monoassiale.....	254
11.1.7 Macchina di misura a coordinate (CMM).....	257
11.1.8 Macchina ottica a visione (VMM).....	257
11.1.9 Rugosimetro.....	258
11.1.10 Profilometro.....	258
11.1.11 Proiettore di profili.....	260
11.1.12 Rotondimetro.....	260
11.1.13 Goniometro.....	261
11.2 LA SCELTA DELLE APPRECCHIATURE PER MISURAZIONE.....	261
12. LE PROBLEMATICHE NELLE MISURE DI DIMENSIONE	
12.1 PROBLEMATICHE DI MISURA DEI DIAMETRI	263
12.1.1 Generalità.....	264
12.1.2 Misura del diametro come segmento fisico.....	264
12.1.3 Misura del diametro come parametro associato ad un cerchio.....	266
12.1.4 Stima dello scostamento di circolarità tramite misure del diametro come segmento fisico.....	266
12.1.5 Stima dello scostamento di circolarità tramite misure a coordinate.....	270
12.1.6 Considerazioni finali sulla misura del diametro.....	274
12.2 PROBLEMATICHE DI MISURA DELLE FILETTATURE.....	275
12.2.1 Generalità.....	275
12.2.2 Micrometri per esterni con capruggine.....	276
12.2.3 Micrometri per esterni con blocchetti di riscontro a tre fili.....	277
12.2.4 Considerazioni finali sulla misura delle filettature...	283

13. LE PROBLEMATICHE NELLE MISURE SUI PROFILI

13.1	INTRODUZIONE.....	285
13.2	TERMINI E DEFINIZIONI.....	287
13.3	I FILTRI.....	291
13.4	I VARI TIPI DI PROFILI.....	293
13.5	I PARAMETRI DI MISURA.....	296
13.6	PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DEL RUGOSIMETRO E CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE	301
13.7	CAMPO DI APPLICAZIONE DEL RUGOSIMETRO.....	303
13.8	MODALITÀ DI MISURA.....	303
13.9	PROBLEMATICHE NELLA MISURA DI RUGOSITÀ.....	305
13.10	GRANDEZZE DI INFLUENZA NELLE MISURE CON IL RUGOSIMETRO.....	307
13.11	PROCEDURA DI TARATURA DEL RUGOSIMETRO.....	308
13.11.1	Scopo.....	308
13.11.2	Campo di applicazione.....	308
13.11.3	Riferimenti.....	308
13.11.4	Apparecchiature impiegate.....	309
13.11.5	Condizioni ambientali.....	309
13.11.6	Esami e controlli preliminari.....	309
13.11.7	Esecuzione delle misure ed elaborazione dei dati.....	310
13.11.8	Calcolo dell'incertezza di misura.....	313
13.11.9	Documentazione dei risultati.....	314

14. LE PROBLEMATICHE NELLE MISURE DI ROTONDITÀ

14.1	INTRODUZIONE.....	317
14.2	METODI DI MISURA DELLA ROTONDITÀ.....	320
14.3	TERMINI E DEFINIZIONI.....	321
14.4	I GRAFICI DEI PROFILI.....	322
14.5	I FILTRI PER LA ROTONDITÀ.....	323
14.6	PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO E CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE DEL ROTONDIMETRO.....	326
14.7	MISURE ESEGUIBILI CON IL ROTONDIMETRO.....	328
14.8	MISURE NON ESEGUIBILI CON IL ROTONDIMETRO.....	333
14.9	MODALITÀ DI MISURA.....	335
14.10	GRANDEZZE DI INFLUENZA NELLE MISURE CON IL ROTONDIMETRO.	336
14.11	CONSIDERAZIONI SULLA TARATURA DEL ROTONDIMETRO	338
14.11.1	Generalità.....	338
14.11.2	Linearità del tastatore.....	338

14.11.3	Errore massimo del sistema tavola girevole-tastatore.....	341
14.11.4	Errore di chiusura del ciclo di misura.....	342
14.11.5	Forza esercitata dal tastatore.....	342
15.	LA FORMAZIONE DEL METROLOGO DIMENSIONALE	
15.1	INTRODUZIONE.....	343
15.2	REQUISITI DI COMPETENZA DEL PERSONALE ADDETTO ALLE MISURAZIONI.....	346
15.3	SCHEMA DI QUALIFICAZIONE DEL PERSONALE ADDETTO ALLE MISURAZIONI.....	350
15.4	SCHEMI DI QUALIFICAZIONE DEL PROCESSO DI FORMAZIONE.....	351
APPENDICE		
A.1.	GLOSSARIO DI METROLOGIA DIMENSIONALE.....	353
A.2.	REGOLE DI SCRITTURA NELLA METROLOGIA.....	363
A.3.	CENNI DI STATISTICA APPLICATA ALLA METROLOGIA.....	367
A.3.1.	INTRODUZIONE.....	367
A.3.2.	INDICI DI POSIZIONE.....	369
A.3.2.1.	La media aritmetica.....	369
A.3.2.2.	La mediana.....	369
A.3.2.3.	La moda.....	369
A.3.3.	INDICI DI DISPERSIONE.....	370
A.3.3.1.	Lo scarto tipo o deviazione standard.....	370
A.3.3.2.	L'escursione.....	371
A.3.4.	IL TEOREMA DEL LIMITE CENTRALE.....	372
A.4.	COEFFICIENTI DI DILATAZIONE TERMICA (CDT) DEI MATERIALI PIÙ UTILIZZATI.....	375
INDICE ANALITICO.....		379